

Die Weltreparatur

Um den Klimawandel zu stoppen, wird es wahrscheinlich nicht ausreichen, schädliche Treibhausgase einzusparen. Geo-Ingenieure entwickeln Methoden, um bereits freigesetztes CO₂ wieder aus der Atmosphäre zu fischen. Ist Climate Engineering die lang ersehnte Lösung?

Text: Tim Schröder

Christiane Tietz wird in den kommenden Wochen des Öfteren Treppen steigen müssen. Es sind fünf Etagen von ihrem Büro bis hinab ins Untergeschoss „-2“, wo die großen Kühlschränke für ihr Experiment stehen. Christiane Tietz ist Biologin. Sie macht am Geomar-Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel gerade ihre Masterarbeit. Ihre Forschungsobjekte sind winzig. Sie untersucht Meeresplankton, Algen, die im Salzwasser schweben und so klein sind, dass man sie nur unter dem Mikroskop erkennen kann.

Sie nimmt eine Flasche aus dem Kühlschrank und hält sie gegen das Licht, das aus dem Kühlschrank in den halbdunklen Raum fällt. Man sieht nichts als klares Wasser. „So muss es aussehen“, sagt sie. „Wenn das Wasser langsam milchig wird, ist es schon zu spät.“ In den Flaschen wachsen die Algen bei 15 Grad Celsius heran. Einmal am Tag teilen sie sich und bilden Tochterzellen. Doch zu viele Algen dürfen es nicht werden. Treiben übermäßig viele im Wasser, verändern sie durch ihren Stoffwechsel nach und nach die Lebensbedingungen in den Flaschen. Idealerweise aber fühlen sich die Algen im Kühlschrank wie Plankton im Meer. Mit ihrem Experiment will Christiane Tietz im Kleinen erforschen, was mit den Algen draußen in den großen Ozeanen geschehen könnte, wenn der Mensch ihre Lebensbedingungen weiter zerstören sollte.

Christiane Tietz gehört zum Team des Geomar-Wissenschaftlers Ulf Riebesell. Der Planktonspezialist forscht seit einiger Zeit an einem Thema, das mit dem Klimawandel in den kommenden Jahren weltweit an Bedeutung gewinnen wird – dem Climate Engineering, kurz CE. Denn trotz des wegweisenden Klimagipfels 2015 in Paris gelingt es noch immer nicht, den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid (CO₂) zu verringern. Ganz im Gegenteil: Die emittierte Menge wächst weltweit noch immer von Jahr zu Jahr. Genau hier kommt CE ins Spiel: Warum nicht das Aufheizen der Erde verzögern, indem der Mensch in das Klima eingreift und es mit technischen Verfahren gezielt manipuliert?

Lange war dieses Vorhaben extrem umstritten. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die sich damit befassten, ernteten harsche Kritik: Das Klima manipulieren zu wollen? Reine Hybris! Der Mensch überschreite eine Grenze und schwinge sich dazu auf, über das Schicksal des ganzen Planeten entscheiden zu wollen, hieß es oft. Und tatsächlich: „Die Idee, mit technischen Hilfsmitteln am Klima zu drehen, erschien noch vor etwa zehn Jahren absurd“, erinnert sich auch Ulf Riebesell. Doch inzwischen ändere sich das Stimmungsbild. „Vielleicht brauchen wir Climate Engineering doch, um die Erde vor den schlimmsten Folgen des Klimawandels zu bewahren.“

Niemand weiß genau, wie schnell der Klimawandel in den kommenden Jahr- zehnten voranschreiten wird, wie schnell das Eis der Antarktis und Grönlands schmelzen und der Meeresspiegel steigen könnte. Niemand kann voraussehen, wie oft es künftig Dürren oder Taifune geben wird. „Für den Fall, dass es irgendwann ganz schnell schlimmer wird, sollten wir eine Notfalloption bereit haben“, sagt Ulf Riebesell. „CE kann diese Notfalloption sein.“ Allerdings verbergen sich hinter dem Begriff zahlreiche verschiedene technische Ansätze – und das macht das Thema komplex.

Die Ozeane schlucken fast ein Drittel der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen

Im Groben unterscheiden Klimaforscher zwei Kategorien: Zum einen gibt es das Carbon Dioxide Removal, kurz CDR – die Kohlendioxid-Entfernung. Diese Methode hat das Ziel, Kohlendioxid aus der Luft zu filtern oder aus den Abgasen von Kraftwerken abzutrennen und es für lange Zeit zu binden. Zur zweiten Kategorie zählen Methoden, die direkt den Wärmehaushalt der Erde verändern – das sogenannte Strahlungsmanagement, englisch: Solar Radiation Management (SRM). Beispielsweise könnten Flugzeuge in der Atmosphäre Partikel verstreuen, die einen Teil der Sonnenstrahlung reflektieren und somit von der Erde fernhalten.

Ulf Riebesell hat vor allem die Kohlendioxid-Entfernung, also die CDR-Methoden, im Blick. Und als Meeresforscher beschäftigt ihn besonders die Frage, welchen Beitrag die Ozeane leisten können. Immerhin sind sie schon heute einer der größten Kohlendioxid-Speicher überhaupt. Sie schlucken fast ein Drittel der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen. Dieser Effekt könnte sich durch Climate Engineering verstärken lassen – indem man zum Beispiel das Meer mit Gesteinsmehl düngt, sogenannten Karbonaten. Damit würde der Mensch ein natürlich auftretendes Phänomen imitieren: Durch die Verwitterung von Gebirgen werden Karbonate mit dem Regen aus Gebirgen ausgewaschen und über die Flüsse ins Meer transportiert. Diese Karbonate kann man sich wie einen Schwamm vorstellen. Sie binden im Wasser gelöstes CO₂ und halten es damit für lange Zeit aus der Atmosphäre fern. Würde man größere Mengen Gesteinsmehl ins Meer kippen, könnte es noch mehr CO₂ als heute schlucken, so die Hoffnung. Ulf Riebesell und sein Team gehören zu den ersten Forschern überhaupt, die die Folgen solcher Climate-Engineering-Methoden im Experiment untersuchen.

Die Geomar-Forscherin Christiane Tietz hat gerade damit begonnen zu prüfen, was mit dem Plankton geschieht, wenn sie die Menge an Karbonat im Meerwasser Milligramm für Milligramm erhöht. Dafür begutachtet sie zwei Gruppen von Plankton – Kieselalgen, eine der wichtigsten Algengruppen in den Ozeanen überhaupt, die durch die Fotosynthese enorme Mengen an Biomasse produzieren; und zum zweiten Kalkalgen, die Coccolithophoriden. Diese Algen mit dem unaussprechlichen Namen bilden kleine Kalkpanzer. Wie gut die Panzer der Algen wachsen, hängt vom Karbonatgehalt des Wassers ab. Damit hat Christiane Tietz zwei Lebewesen ausgesucht, deren Wohl direkt mit dem Karbonat zusammenhängt. Denn beide brauchen zum Leben Kohlendioxid.

Kläut das Karbonat ihnen ihren Lebensgrundstoff, gehen sie ein, eine Katastrophe. „Ich möchte herausfinden, bei welcher Karbonatkonzentration die Algen Probleme kriegen“, sagt die Biologin. „Wo ist der Kippunkt, bei dem für die Fotosynthese nicht mehr ausreichend

CO₂ zur Verfügung steht.“ Die Coccolithophoriden dürften dabei zunächst vom höheren Karbonatgehalt sogar profitieren, weil dieser das Wachstum der Kalkpanzer fördert. Aber irgendwann bekommen auch sie Probleme.

Und klar ist auch: Wollte man allein mit Gesteinsmehl Klimagase aus der Atmosphäre holen, müsste man eine Karbonatindustrie von der Größe des weltweiten Kohlehandels aufbauen – ein Milliarden-Tonnen-Geschäft. Das erscheint extrem unwahrscheinlich, immerhin setzt die Menschheit mit der Verbrennung von Gas, Öl und Kohle jährlich etwa 38 Milliarden Tonnen CO₂ frei. Bei allen Anstrengungen zur Emissionsminderung wird sich diese Menge nicht sofort auf null bringen lassen. Um den verbleibenden Rest zu neutralisieren, ist Climate Engineering von größerer Dimension nötig, ein bisschen Mehl reicht da nicht. Für realistischer halten es Geoingenieure daher, dass künftig viele verschiedene Methoden im Zusammenspiel zum Einsatz kommen.

Seit vielen Jahren diskutieren Fachleute deshalb zum Beispiel die Idee, Wälder und Mangroven in großem Stil wieder aufzuforsten, da auch diese Pflanzen mittels Fotosynthese Kohlendioxid speichern. Für einen spürbaren Effekt aber müsste man die Wälder viele Hundert Jahre lang unberührt wachsen lassen. Das aber erscheint unwahrscheinlich, denn die Weltbevölkerung wächst und damit auch ihr Nahrungsbedarf. Für die kommenden Jahre ist abzusehen, dass die Menschheit mehr Ackerfläche benötigt denn je. Viel Platz für neue Wälder gibt es da nicht.

Der Weltklimarat betont in seinen Zukunftsszenarien seit einigen Jahren daher eine andere Climate-Engineering-Technologie: den Anbau schnell wachsender Energiepflanzen wie Chinaschilf. Ähnlich wie bei etablierten Biogasanlagen, in denen bereits heute Mais oder Ernteabfälle vor sich hin gären, soll das Schilf Energie liefern. Das Problem ist nur: Auch für den Anbau von Energiepflanzen braucht es Ackerfläche. Zudem müssen die Pflanzen zur Energieerzeugung verbrannt werden, es entsteht, was niemand möchte: CO₂. Energiepflanzentechnik also droht zum Nullsummenspiel zu werden, die Grenzen der Methode sind schon heute abzusehen.

Doch es gibt womöglich eine Lösung für dieses Problem: Man könnte, so die Idee, das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ aus den Abgasen abfischen und in unterirdische Lagerstätten pumpen – beispielsweise in ausgediente Erdgasfelder. Diese unterirdische Speicherung gilt derzeit als eine der vielversprechendsten CE-Technologien; nicht nur, aber vor allem in Kombination mit Energiepflanzen.

Sinnvoller scheint es, schädliche Klimagase dort abzuscheiden, wo sie anfallen

Die Firma Climeworks, eine Ausgründung der ETH Zürich, hat bereits eine Filteranlage entwickelt, mit der es möglich sein soll, Kohlendioxid direkt aus der Luft zu fischen. Künftig könnten solche Anlagen in vielen Ländern errichtet werden, sofern es dort unterirdische Speicher gibt. Doch auch hier gibt es eine Herausforderung: Um größere CO₂-Mengen mit Anlagen à la Climeworks aus der Atmosphäre einzufangen, braucht es viel Energie. Sinnvoller scheint es daher, schädliche Klimagase direkt dort abzuscheiden, wo sie in großen Mengen anfallen – also nicht hoch oben im Himmel, sondern an den Schornsteinen von Gas- und Kohlekraftwerken, von Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken.

Die EU hat ihre Mitgliedsländer inzwischen mit der CCS-Direktive dazu verpflichtet, die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid voranzutreiben. CCS steht für Carbon Capture and Storage, also Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid. Die Niederlande haben bereits reagiert. Im Projekt Porthos soll im Hafen von Rotterdam nun eine CCS-Anlage entstehen: Entlang der Raffinerien sowie an Kraft- und Zementwerken im Hafen soll eine Pipeline verlegt werden, in die CO₂ aus den Abgasen eingespeist wird. Die Pipeline wird zu einer Kompressorstation führen, die das Gas verdichtet und hinaus in die Nordsee zu einer ausgedienten Erdgaslagerstätte in 2900 Meter Tiefe leitet. Auch in Norwegen ist ein solches Projekt geplant: Künftig wird dort Kohlendioxid an der großen Müllverbrennungsanlage in Oslo abgeschieden und per Schiff an die Westküste zu einer Pumpstation transportiert. Von dort wird es in eine Gesteinsformation unter der Nordsee gepresst.

In Deutschland gab es vor einigen Jahren ähnliche Pläne – die gescheitert sind am massiven Widerstand von Klimaschützern. Sie argumentierten, dass sich vor allem die Kohleindustrie mit CCS aus der Affäre ziehen würde: Statt auf erneuerbare Energien zu setzen und den Ausstoß von Treibhausgasen zu begrenzen, würde man weiterhin Kohle verbrennen und die Abgase dann einfach in den Untergrund pumpen. Außerdem könnten, so die Kritiker, durch die Verpressung von CO₂ in den Meeresboden giftige Spurenstoffe aus der Erdkruste in die Nordsee gelangen.

Klaus Wallmann, CCS-Experte, Chemiker und Geologe am Geomar-Helmholtz-Zentrum in Kiel, war geschockt, als damals in der Öffentlichkeit der große Widerstand losbrach. „Die Behauptungen entbehrten jeder wissenschaftlichen Grundlage“, sagt er heute. „Die Umweltverbände hatten eigene Gutachten in Auftrag gegeben, die von Ein-Mann-Büros erstellt wurden. In der Öffentlichkeit wurden diese Arbeiten dann als gleichwertig zu der Forschung von Hunderten von Wissenschaftlern dargestellt.“ Tatsächlich aber, sagt Wallmann, blieben mehr als 99 Prozent des Kohlendioxids über lange Zeit im Boden. „Wir haben nur an wenigen Punkten in dem Speichergebiet Methan-Austritte festgestellt, Kohlendioxid und giftige Schadstoffe treten bisher nicht aus.“ Messungen

unter Wasser zeigten zudem, dass CO₂, sollte es einmal über Leckagen austreten, kaum Schäden verursacht: Die Ökosysteme am Meeresboden werden auf einer Fläche von nur etwa 50 Quadratmetern beeinträchtigt. Weil das Kohlendioxid im Wasser teils Kohlensäure bildet, kann das Wasser in unmittelbarer Nähe der Austrittsstelle ein wenig versauern. Viele Organismen meiden solche Bereiche.

Von Giften aber, sagt Wallmann, könne keine Rede sein. „Kohlendioxid ist kein Atommüll!“ Sein Fazit lautet daher: Es sei absolut sinnvoll, große Mengen CO₂ im Untergrund über lange Zeit zu lagern, um eine zu starke Erderwärmung zu verhindern – zumindest so lange, bis es der Menschheit endlich gelinge, ihren Lebensstil umzustellen, also: den Energieverbrauch zu drosseln und erneuerbare Energien weiter auszubauen. CCS für Industrieanlagen könnten aber zwischenzeitlich dazu beitragen, die Klimaerwärmung zu dämpfen.

Schwefelpartikel in die Atmosphäre sprühen? Bloß nicht, sagen Umweltforscher

Anders sieht es beim Strahlungsmanagement (SRM) aus, also dem Abdämpfen von Sonnenstrahlen; eine nach wie vor extrem umstrittene Technik. Denn auch sie bekämpft nicht die Ursache des Klimawandels, sondern doktert an den Symptomen herum. An der

Harvard University bereiten Forscher seit längerer Zeit ein Experiment vor, mit dem sie messen möchten, wie groß der Effekt der Strahlungsdämpfung überhaupt ist. Dafür wollen sie Eiskristalle, Karbonat oder eines Tages sogar Schwefelverbindungen in der Stratosphäre ausbringen.

Auch wenn die Ergebnisse in der Fachwelt mit Spannung erwartet werden, bereitet vielen Umweltforschern die Vorstellung, künftig Schwefelpartikel oder andere Substanzen in der Atmosphäre zu verstreuen, großes Unbehagen. Nicht nur, weil der Himmel dadurch einen Gelbstich bekäme, sondern vor allem, weil kaum abzusehen ist, wie sich die veränderte Strahlung auf das Leben auf der Erde auswirkt, vor allem auf das der Pflanzen. Zudem überschreitet eine solche Maßnahme Staatsgrenzen, immerhin verteilen sich die Partikel über ein großes Gebiet. Damit könnte Strahlungsmanagement auch zum Zankapfel der internationalen Politik werden. Noch ist völlig offen, wie man eine solche Technik zur Zufriedenheit der betroffenen Staaten regeln könnte.

Und noch eine Einschränkung ist zu beachten: Hat man einmal damit begonnen, Sonnenstrahlen in den Himmel zurückzuschicken, kann man nicht einfach wieder damit aufhören – zumindest dann nicht, wenn die Menschheit weiter Klimagase in die Atmosphäre bläst. Denn dann würde sich die Erde sofort wieder erwärmen. Man müsste SRM-Anlagen also über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte laufen lassen – und würde damit künftige Generationen in die Pflicht nehmen.

„Der Gedanke erscheint unheimlich“, sagt auch Oliver Geden, Klimapolitik-Experte der Berliner Stiftung Wissenschaft und Politik. „Doch wer weiß, wie die Erde aussehen wird, wenn wir das 2-Grad-Ziel nicht schaffen, vielleicht sogar in einer 4-Grad-Welt leben müssen?“ Denn dann sei es durchaus denkbar, dass die davon am stärksten betroffenen Staaten ein welt- weites Strahlungsmanagement einfordern. „Es bleibt abzuwarten, welche Welt uns dann unheimlicher erscheint – eine mit Strahlungsmanagement oder eine mit extremen Auswirkungen des Klimawandels.“

Wie viele andere Forscher fordert auch Oliver Geden, verschiedene Climate-Engineering-Technologien so schnell wie möglich zu erforschen. „Das mag einem Eingeständnis gleichkommen, dass es der Menschheit nicht mehr gelingt, das Weltklima allein durch eine Minderung der Emissionen zu stabilisieren. Aber ich bin mir sicher, dass wir das Thema Climate Engineering einst international werden verhandeln müssen.“

Das alles klingt düster und beängstigend, doch das, sagt der Kieler Geomar-Forscher Ulf Riebesell müsse keineswegs sein. „Wenn man irgendwo im Ozean auf einen Schlag Hunderte Tonnen von Karbonat versenkt, dann wird das die Plankton- Lebensgemeinschaften sicher beeinträchtigen“, sagt er. Nur: Es gehe eben auch sanfter. So könnte man zum Beispiel Gesteinsmehl an der Küste in den Boden einarbeiten. Die Flut würde das Karbonat nach und nach auflösen und es in verträglichen Dosen ins Meer tragen. Und so, davon ist Riebesell überzeugt, gelinge CE, ohne die Umwelt massiv zu verändern.

Der lebende Beweis ist für ihn die Ostsee. Über Jahrzehnte gelangte dort Karbonat in das kleine Randmeer, ohne die Lebensräume messbar durcheinanderzuwirbeln. Es stammte allerdings nicht aus Climate-Engineering-Experimenten, sondern aus der DDR-Landwirtschaft – aus dem Kalk, den Landwirte damals in großen Mengen auf die Felder ausbrachten.

